

Regeln und Steuern eines Rührreaktors



Abschlussbericht der Kooperationsphase 2018/19

Durchgeführt an der Hochschule Pforzheim

Betreuer: Dipl.-Ing (FH) Joachim Hampel

Betreuer am Hector Seminar: Dr.-Ing. Joachim Götz, Dietmar Gruber, Ingmar Oehme

Markus Biedler
Spichern Straße 38
75173 Pforzheim

Jan Frey
Karlsruher Straße 100
76325 Pfinztal

Sven Thomes
Hardt Straße 1
76297 Stutensee

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
1 Einleitung	3
2 Messgeräte und Messmethoden	4
2.1 Reaktormodell	4
2.2 Reaktor 2.0	5
2.2.1 Geschwindigkeitsregelung mit Lichtschranke	5
2.2.2 Temperierung	6
2.2.3 Messwertübertragung	8
2.3 Versuche	9
2.3.1 Zuckerlösung	9
2.3.2 Jaffa-Pektin-Mischung	10
3 Ergebnisse	11
4 Diskussion	17
4.2 Fehlerdiskussion	19
Quellenverzeichnis	22
Anhang	24
Selbstständigkeitserklärung	28

Abstract

This project, accomplished in cooperation with the Hochschule Pforzheim, deals with the different behaviors of substances in a model reactor. Every substance has a different viscosity, which also depends on its temperature. Due to its viscosity being a resistance to the engine, the need of power changes, which is measured and documented. The objective was to enhance our reactor and interpret the results of more advanced experiments.

1 Einleitung

In der Lebensmittelindustrie kommen Rührkessel bei Produktionsvorgängen zum Einsatz. Sie sind vergleichbar mit Reaktoren, mit denen man Substrate temperieren und vermischen kann, während kontinuierlich Messungen durchgeführt werden können.

Dies wird modellhaft in dem untersuchten Rührkessel nachgestellt. Hauptziele sind die Untersuchung und Bestimmung der Viskosität unter Betrachtung des zum Rühren benötigten Motorstroms bei unterschiedlichen Materialien. Die hierzu infrage kommenden Substanzen wären beispielsweise reine Flüssigkeiten, Suspensionen und Lösungen mit Hydrokolloiden wie Agar-Agar oder Stärke. Mit dem ursprünglichen Reaktor kann der Motorstrom und damit die resultierende Viskosität des Inhalts gemessen werden. Im Verlaufe des Projekts wird ein Reaktor mit neuen Sensoren und Aktoren eingesetzt. Bei den neuen Aktoren handelt es sich um einen stärkeren Motor und ein pumpfähiges Thermostat, während die neue Sensorik aus einer Geschwindigkeitsregelungsanlage mit Lichtsensor besteht. Der verbesserte Behälter kann mit einem Thermostat temperiert werden und die Drehgeschwindigkeit wird konstant gehalten. Mit ihm werden neue Versuche durchgeführt und Messreihen erstellt, die anschließend ausgewertet werden können. In den Messreihen werden Geliervorgänge mit verschiedenen Substanzen aufgezeichnet. Diese Versuche sollen die verbesserte Funktionalität des neuen Reaktors zeigen.

2 Messgeräte und Messmethoden

2.1 Reaktormodell

Der erste Reaktor besteht grundlegend aus einem Behälter aus Plastik. Außerdem besitzt er einen Deckel mit Dichtung und einem Loch in der Mitte. Hier wurde ein Gleichstrommotor verbaut. Der Motor führt einen Rührer, der auf einer in dem Reaktor befestigten Metall-führung dreht. Er wurde bereits im vorherigen Modul verwendet. In Abb. 1 sind die zum Versuchsaufbau gehörenden Bauteile, wie ein Netzteil, ein in C programmierter Mikrocontroller mit Motortreiber und die notwendigen Kabel abgebildet.

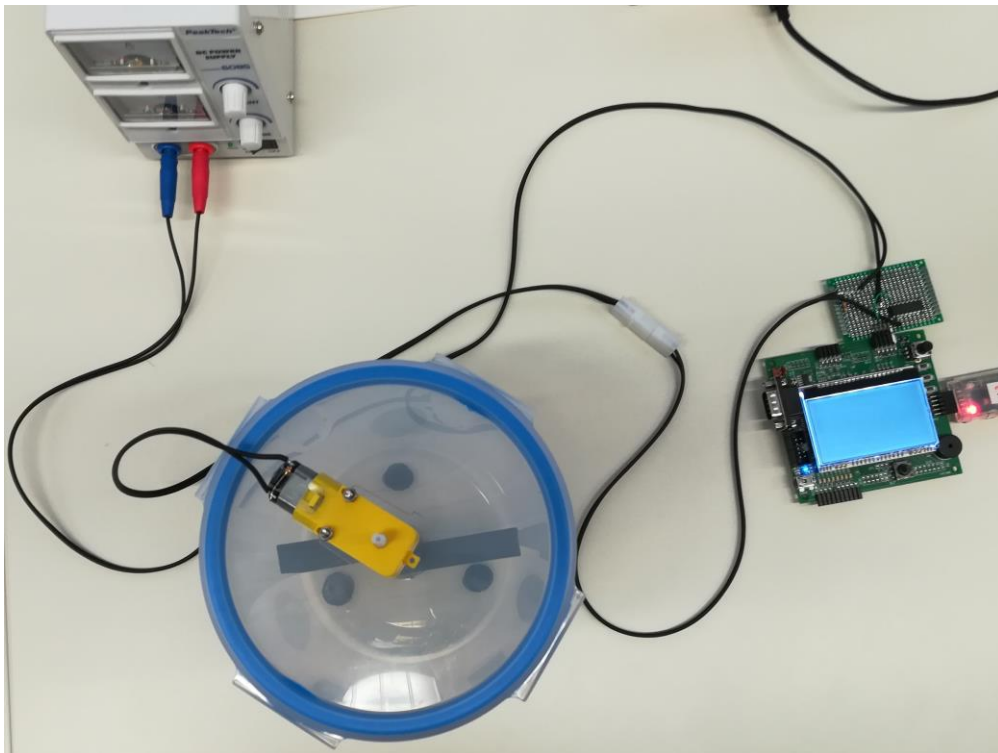


Abb. 1: Reaktormodell

2.2 Reaktor 2.0

Die Messwerte bei den Versuchen mit dem alten Reaktormodell hatten folgende Fehlerquellen. Ein Problem war, dass der Motor sich zum einen bei unterschiedlich viskosen Flüssigkeiten verschieden schnell und bei der gleichen Flüssigkeit nicht mit konstanter Geschwindigkeit dreht. Der Motor des alten Reaktors hatte Schwierigkeiten, hochviskose Flüssigkeiten umzurühren. Die Temperatur der Substanz im Reaktor, welche während der Messreihen und im Verlauf des Tages und Jahres nicht konstant blieb, ist eine weitere Fehlerquelle. Unsere Messdatenerfassung war relativ mühsam und fehleranfällig, da hierbei die Messwerte vom Mikrocontroller ausgelesen und von Hand in eine Excel-Tabelle eingetragen wurden. Die Verbesserungen werden deshalb im Aufbau, in der Programmierung und in der Messwerterfassung vorgenommen.

2.2.1 Geschwindigkeitsregelung mit Lichtschranke

Zur Beibehaltung einer konstanten Geschwindigkeit während der einzelnen Versuche wurde eine Geschwindigkeitsregelung mittels einer Lichtschranke entwickelt. Zudem stellte die Hochschule stärkere Motoren zur Verfügung, um auch dickflüssigere Substanzen zu verrühren. Mittels dieser Verbesserungen wurde ein Prototyp an der Hochschule Pforzheim entworfen. Dieser besteht aus einem Stativ, an welchem zwei Klemmen befestigt sind. An der Motorachse ist oberhalb des Rührers ein Rotor befestigt. Dieser, in Abb. 2 gezeigte Motor wird in der oberen Klemme befestigt, während an der unteren Klemme ein Lichtsensor angebracht wird. Der Sensor sendet ein Lichtsignal aus, der auf der gegenüberliegenden Seite von einem Rezeptor empfangen wird. Es kann am Rezeptor gemessen werden, ob sich gerade ein Rotorblatt oder ein Freiraum in der Lichtschranke befindet. Die Klemmen werden so justiert, dass sich der Rotor beim Drehen durch die Lichtschranke bewegt.

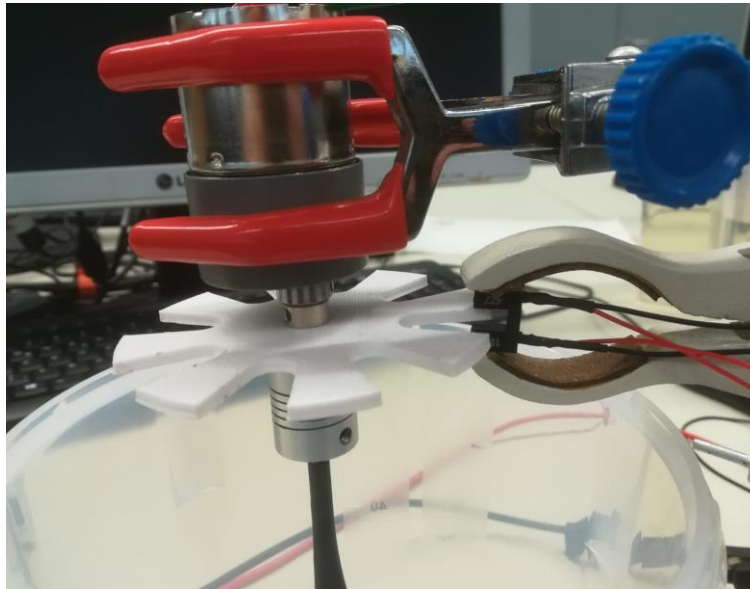


Abb. 2: Rotor mit Lichtschranke

Mittels der Daten der Lichtschranke berechnet der Mikrocontroller, wie hoch die Winkelgeschwindigkeit des Rotors ist. Hierfür benötigt er die Anzahl an Rotorblättern, wodurch der Mikrocontroller die Signale pro Umdrehung errechnet. Wenn dieser Wert geringer oder höher ist, als die vorgegebene Geschwindigkeit, kann der Mikrocontroller die Geschwindigkeit anpassen. Durch diese permanente Regelung bleibt die Geschwindigkeit konstant. Diese Konstruktion war unhandlich und musste vor jeder Messreihe neu justiert werden, da der Rotor die Lichtschranke nicht berühren darf.

2.2.2 Temperierung

Die in den Versuchen betrachtete Viskosität, welche über den Motorstrom ermittelt wird, beschreibt die Zähflüssigkeit von Fluiden. Die Viskosität hängt von der Temperatur der Substanz ab. Beispielsweise ist warmer Honig einfacher zu streichen, als kalter Honig. Durch die Entwicklung einer Temperierung des Rührbehälters, können Messfehler ausgeschlossen werden. Ein hochwertiges Thermostat sorgt für eine genaue Temperierung. Bei dem von uns verwendeten kann die genaue Pumpfrequenz sowie die Temperatur in °C bis zu einer Nachkom-

mastelle genau eingestellt werden. Dieses Thermostat kann eine Überträgerflüssigkeit in einem Behälter erwärmen oder abkühlen und dann in einen weiteren Behälter pumpen. Es entsteht eine Zirkulation.



Abb. 3: Thermostat (ICC, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen) mit eingebauter Pumpe

Die Überträgerflüssigkeit ist Wasser, da dieses am einfachsten zu beschaffen ist. Das Ziel war es, das Wasser um den Reaktor zu pumpen. Das Thermostat temperiert das Wasser in einem separaten Behälter. Der Reaktor wird in einem weiteren Behälter von der Überträgerflüssigkeit umströmt.

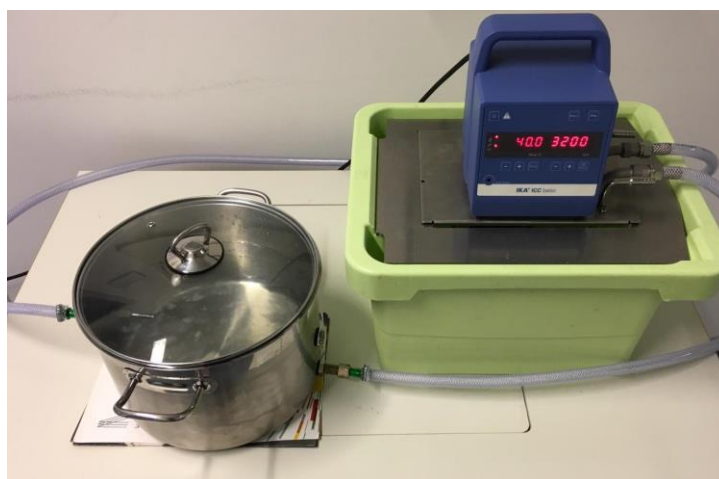


Abb. 4: Wasserbad mit Thermostat

Eine Wanne aus Hartplastik und ein handelsüblicher Kochtopf aus Edelstahl dienen als Behälter. Das Verwenden der Plastikwanne ist unbedenklich, da das Wasser bis maximal 60°C erhitzt wird. Der Topf ist modifiziert, sodass zwei Schläuche als Zu- und Abfluss verwendet werden können. Der Einfluss ist höher gelegen als der Ausfluss. Die Temperaturen der Überträgerflüssigkeit müssen für eine optimale Temperierung möglichst schnell auf die Substanz im Reaktor übertragen werden. Zur besseren Wärmeleitung wird ein Rührbehälter aus Metall verwendet. In diesem Metallbehälter ist ein Metallsockel für den Rührer angebracht. Drei Magneten sind am Boden befestigt, um Verrutschen zu verhindern. An der oberen Kante ist eine dünne Metallleiste angebracht, wodurch der alte Deckel auf den neuen Behälter passt.



Abb. 5: Stählerner Rührreaktor (WMF Group GmbH, Geislingen an der Steige)
im Wasserbad

2.2.3 Messwertübertragung

Zur Verbesserung der Messwerterfassung und -übertragung wurde das Programm Tera Term benutzt. Tera Term ist ein Terminal Emulator, welcher im Internet frei zugänglich ist. Durch Anschließen des Mikrocontrollers an den Computer mit USB konnten die Werte direkt auf dem Terminal ausgegeben werden. Hierzu mussten der Port und die Übertragungsrate angegeben werden. Die großen Mengen an Messwerten konnten nach den Versuchen abgespeichert und in Diagramme übertragen werden.

2.3 Versuche

Zur Durchführung der Versuche mit dem ersten Reaktor wurden zuerst der Mikrocontroller und das Netzteil am Reaktor angeschlossen. Anschließend wird der Motor aktiviert und die Messwerte können alle zehn Sekunden abgelesen werden.

Die Messungen wurden mit Wasser (Nullprobe), Mondamin (Verhältnis 800ml : 30g), Pektin (Verhältnis 800ml : 50g) und Methylcellulose (Verhältnis 800ml : 10g) durchgeführt.

Bei den Versuchen mit dem neuen Reaktor wurde das Wasserbad befüllt. Die Flüssigkeit im Behälter darf nicht überfließen, daher wird die abfließende Menge im Topf möglichst genau wieder hineingepumpt. Trotzdem ist es für eine optimale Temperierung von Vorteil, wenn das Wasser bis zur oberen Kante des Behälters reicht. Aus diesem Grund werden vor den Messreihen die Pumpfrequenz und die Temperatur eingestellt. Anschließend wurde die zu untersuchende Flüssigkeit abgemessen und in den Reaktor gefüllt. Drei Magneten unterhalb des Reaktors befestigen ihn am Topf. Bevor die Messreihen beginnen können, werden der Rotor mit der Lichtschranke eingestellt und der Mikrocontroller mit Netzteil und Computer verbunden.

2.3.1 Zuckerlösung

Als Vorversuche wurden Experimente mit Zuckerwasser durchgeführt. Zur Herstellung wurden 2000 g handelsüblicher Haushaltszucker (Saccharose) mit 920 g Wasser bei 60°C in einem Kochtopf gemischt. Diese Mischung ist in Abb. 6 gezeigt.



Abb. 6: Zuckerlösung

2.3.2 Jaffa-Pektin-Mischung

Die Jaffa-Pektin-Mischung ist eine Substanz mit variabler Viskosität. Diese ist eine Mischung aus einem Zuckersirup und einer Pektinlösung. In dieser speziellen Zuckerlösung sind im Gegensatz zur vorigen neben Saccharose auch Fruktose und Glukose enthalten. Pektine sind pflanzliche Polysaccharide. Durch Hinzufügen einer Säure während des Rührvorgangs geliert die Mischung, wodurch sich die Viskosität erhöht. Das Gemisch wurde nach dem Rezept der Firma HERBSTREITH & FOX KG, Neuenbürg, hergestellt.

Für die Zuckerlösung wurde 500 g Saccharose, 675 g Fruktose und 875 g Glukose mit 450 g Wasser bei 90°C zusammengemischt. Hierdurch entstand ein hochviskoser Sirup, welchem 125 g Orangensaft beigemischt wurde. Der Versuch besteht aus dem Vermischen aus einem Liter Jaffa-Pektin-Mischung mit 15 ml Zitronensäure. Die Säure sorgt für die Gelierung der Mischung, indem sich die vorher in Suspension vorliegenden Zucker in einem Netz miteinander verbinden.



Abb. 7: Jaffa-Pektin-Lösung

3 Ergebnisse

Die Versuche wurden mit Wasser, einer Zuckerlösung und einer Jaffa-Pektin Mischung im verbesserten Reaktor durchgeführt, welcher in Abb. 4 und 5 zu sehen ist. Dabei wurde die Motorspannung bestimmt, welche Rückschlüsse auf die Viskosität liefert. Bei den Diagrammen wurden jeweils drei Messreihen aufgenommen (grau). Die blaue Kurve ist der Mittelwert dieser drei Graphen. Die Standardabweichung, ein Maß für den Grad der Abweichung, ist in den Diagrammen orangefarben gekennzeichnet. Auf der x-Achse sind die Messwerte nummeriert, welche die Zeit darstellen. Die Zahlen entsprechen den Nummern der einzelnen Messwerte. Da Tera Term ca. 5 Werte pro Sekunde ausgibt und immer etwa 800 Werte aufgenommen wurden, ergibt sich eine Laufzeit von 160 Sekunden. Auf der y-Achse ist die Motorspannung dimensionslos dargestellt. Diese steht im direkten Zusammenhang mit der Viskosität der Reaktorsubstanz, da sich der Widerstand am Rotor proportional auf die Spannung im Motor auswirkt.

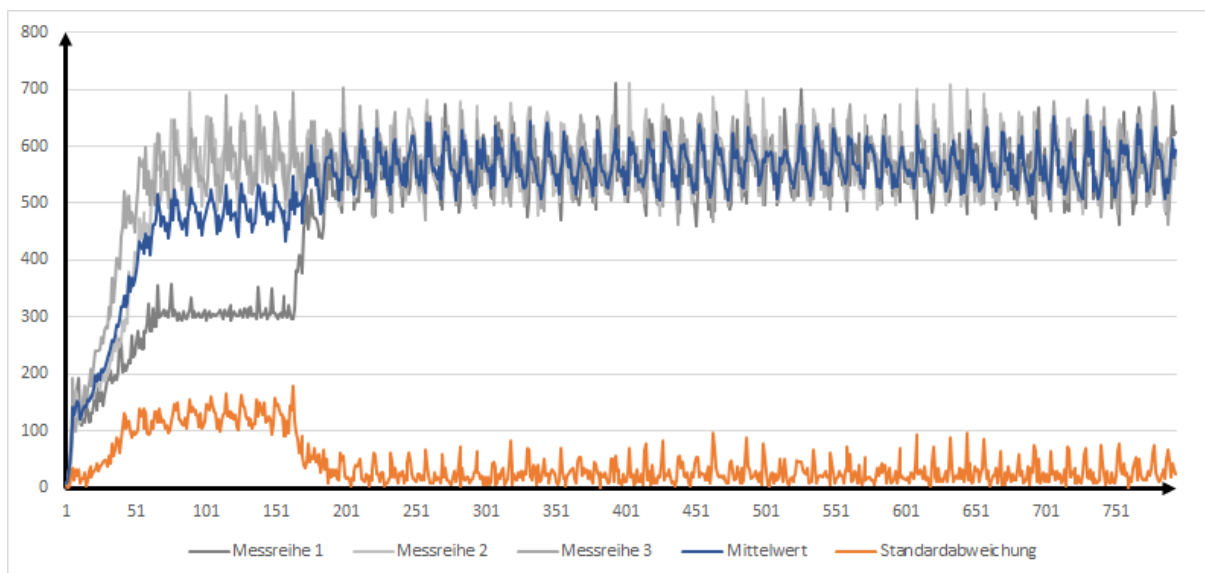


Abb. 8: Zuckerlösung bei Raumtemperatur im temperierbaren Reaktor

In Abb. 8 sind Ähnlichkeiten der Messreihen erkennbar: Anfangs steigen sie an und pendeln sich schließlich auf einen Wert von ca. 600 ein. Die Standardabweichung ist zu Beginn sehr hoch, bleibt jedoch nach kurzer Zeit niedrig, bei etwa 50. Die starke Abweichung am Anfang liegt an dem zunächst relativ niedrigen Wert von 300 der dunkelgrauen Kurve. Die Messreihen schwanken periodisch und es gibt ungefähr alle 12 Werte ein lokales Maximum.

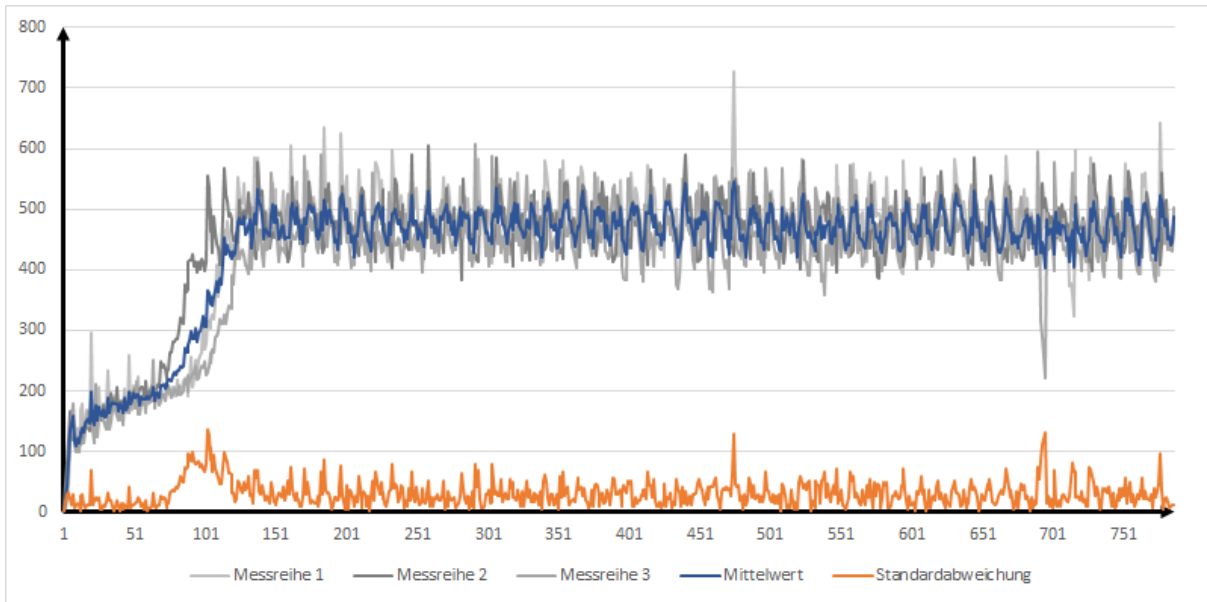


Abb. 9: Zuckerlösung bei 40°C im temperierbaren Reaktor

In Abb. 9 haben die Messreihen Ähnlichkeiten. Zu Beginn steigen sie eher langsam an und pendeln sich auf einem Wert von ca. 500 ein. Die Standardabweichung ist bis auf einzelne Werte relativ konstant bei einem Wert 50.

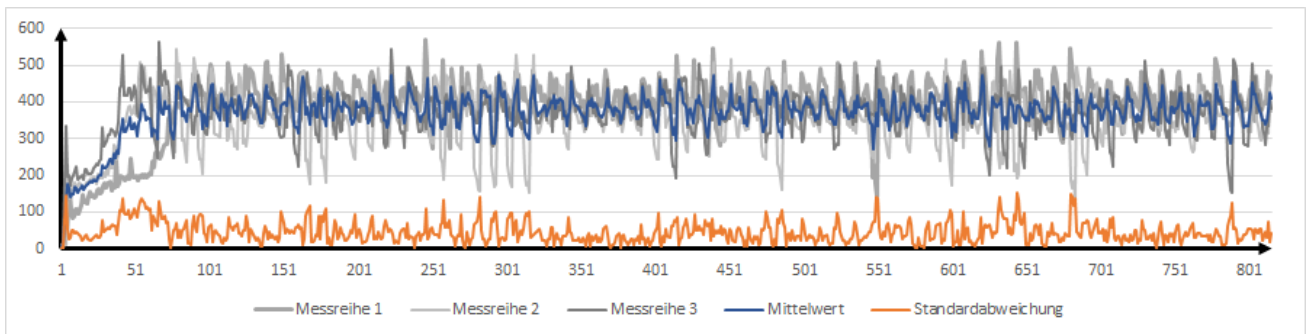


Abb. 10: Zuckerlösung bei 60°C im temperierbaren Reaktor

In Abb. 10 sind die Messreihen zwar ähnlich, weichen aber teilweise stark voneinander ab. Sie steigen zuerst schnell an und der Mittelwert pendelt sich bei ca. 400 ein. Die Abweichung ist relativ hoch, schwankt jedoch ununterbrochen.

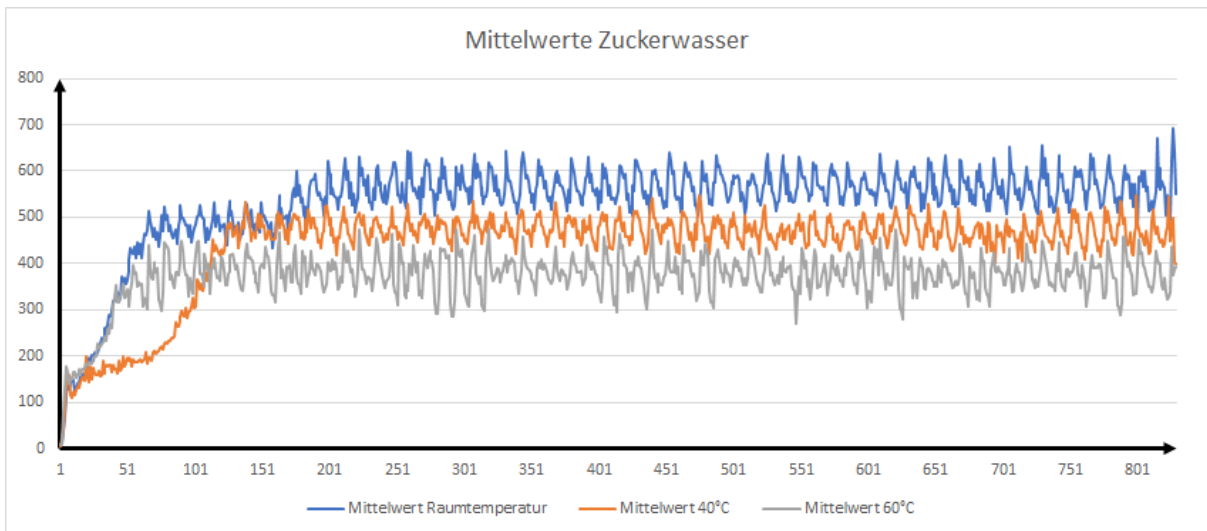


Abb. 11: Mittelwerte der Zuckerlösung bei verschiedenen Temperaturen

In Abb. 11 sind die Mittelwerte der Zuckerlösung bei Raumtemperatur (blau), 40°C (orange) und 60°C (grau) dargestellt. Sie steigen zu Beginn alle an. Ab dem 150. Wert haben sich alle Kurven eingependelt. Die Kurve der Raumtemperatur hat den höchsten Wert der drei Graphen bei ca. 560. Darunter ist die orangene Kurve, welche um einen Wert von 460 pendelt. Die Kurve mit dem niedrigsten Wert (380) ist die graue Kurve, bei 60°C.

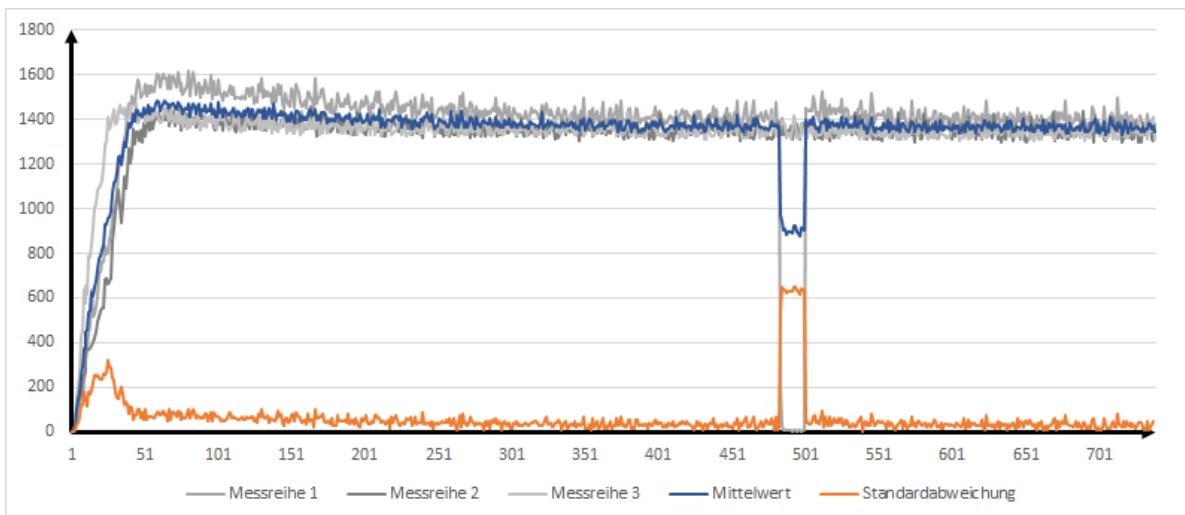


Abb. 12: Jaffa-Pektin-Mischung bei Raumtemperatur im temperierbaren Reaktor

In Abb. 12 sind klare Ähnlichkeiten der Messreihen zu erkennen. Sie pendeln sich nach einem Anstieg auf ca. 1400 ein. Beim 480. Wert fällt eine der Messreihen für 20 Werte auf null. Durch diese starke Abweichung werden auch der Mittelwert und die Standardabweichung beeinflusst. Da dies aufgrund eines Messfehlers entstanden sein muss, werden die einzelnen Messwerte der Messreihe 1 im weiteren Verlauf vernachlässigt.

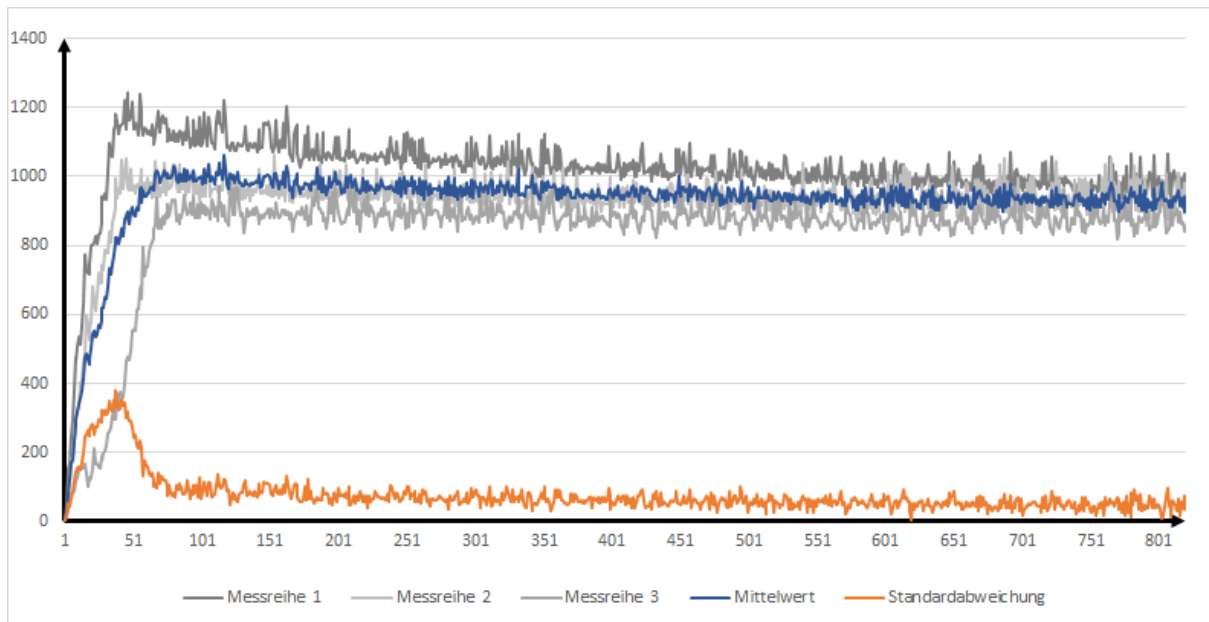


Abb. 13: Jaffa-Pektin-Mischung bei 40°C im temperierbaren Reaktor

In Abb. 13 sind Unterschiede in den Messreihen zu erkennen. Auf lange Sicht sinken sie und gleichen sich an. Die Standardabweichung bleibt nach einem anfänglichen Ausschlag unter 100.

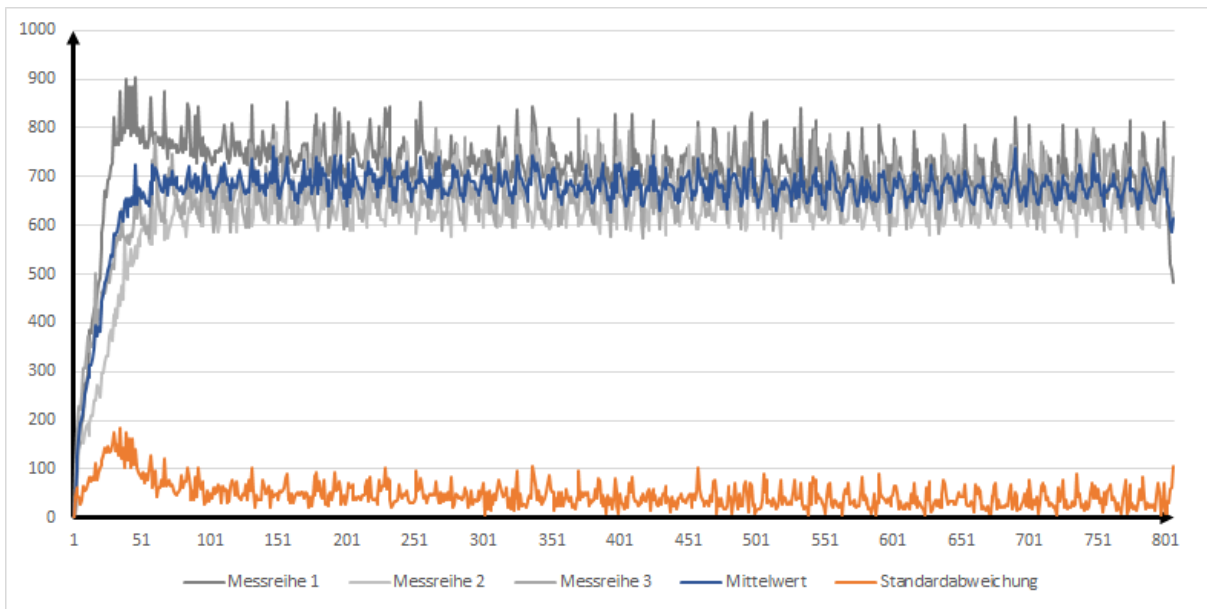


Abb. 14: Jaffa-Pektin-Mischung bei 60°C im temperierbaren Reaktor

In Abb. 14 kann man Unterschiede der Messreihen erkennen. Mit der Zeit pendeln sie sich auf 700 ein. Dementsprechend ist auch die Standardabweichung am Anfang relativ hoch und schwankt später um einen Wert von 50.

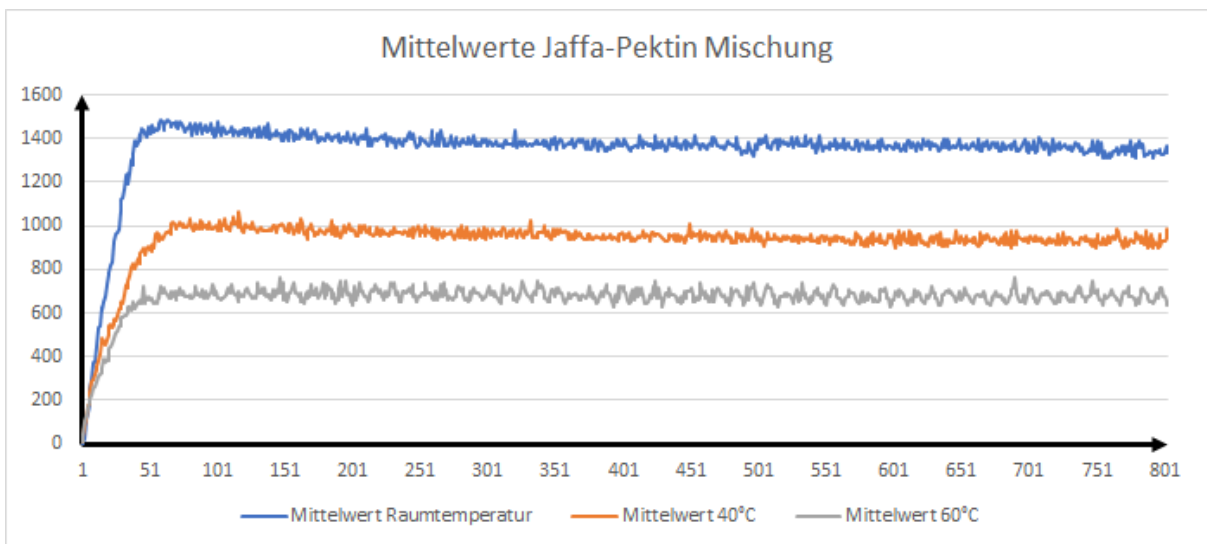


Abb. 15: Mittelwerte der Jaffa-Pektin-Mischung bei verschiedenen Temperaturen

In Abb. 15 sind die Mittelwerte der Jaffa-Pektin-Mischung bei Raumtemperatur (blau), 40°C (orangefarben) und 60°C (grau) dargestellt. Sie steigen zu Beginn alle an. Ab dem 70. Wert haben sich alle Kurven eingependelt. Die Kurve der Raumtemperatur hat den höchsten Wert der drei Graphen bei ca. 1400. Die orangene Kurve pendelt um 950. Die Kurve mit dem niedrigsten Wert (700) ist die graue Kurve, 60°C.

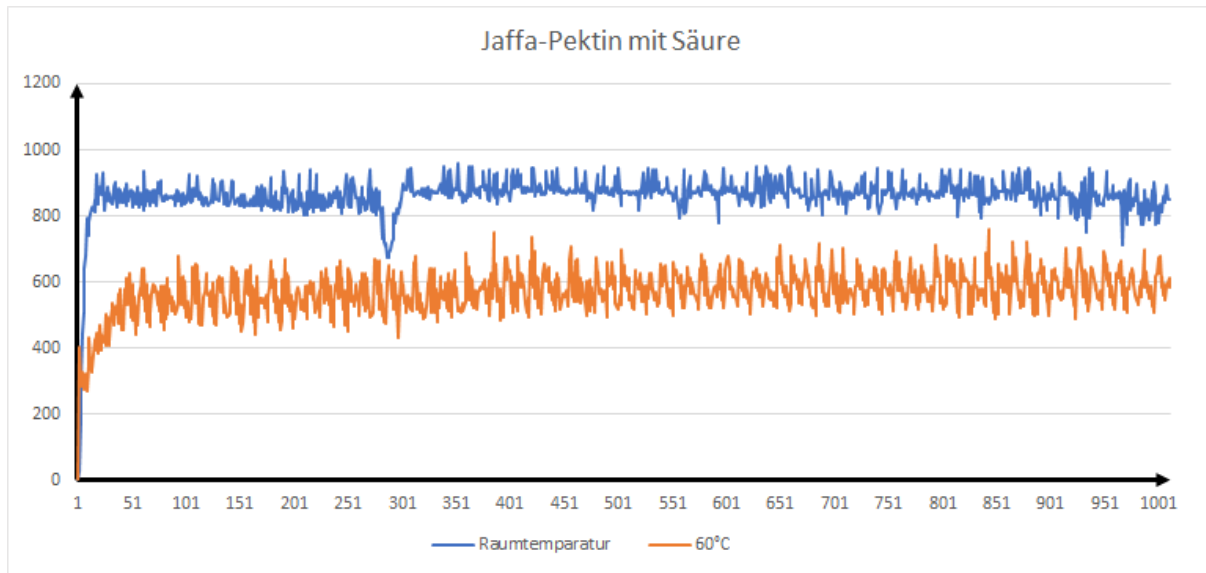


Abb. 16: Jaffa-Pektin-Mischung mit Säure bei unterschiedlichen Temperaturen

In Abb. 16 ist die Jaffa-Pektin-Mischung mit Zitronensäure im Verhältnis 500:7,5 bei Raumtemperatur und bei 60°C im verbesserten Reaktor dargestellt. Die Säure wurde bei dem 300. Wert hinzugegeben. Bis auf einen niedrigen Wert von hier knapp 700 bei Raumtemperatur sind aber keine starken Abweichungen zu erkennen.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Ergebnisse

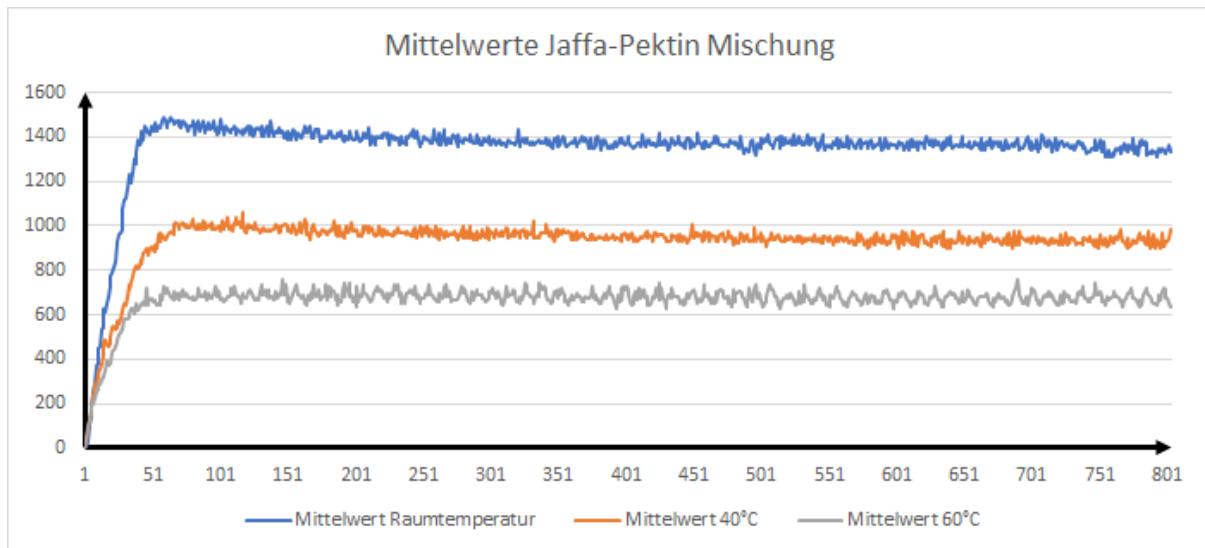


Abb. 17: Mittelwerte der Jaffa-Pektin-Mischung bei unterschiedlichen Temperaturen

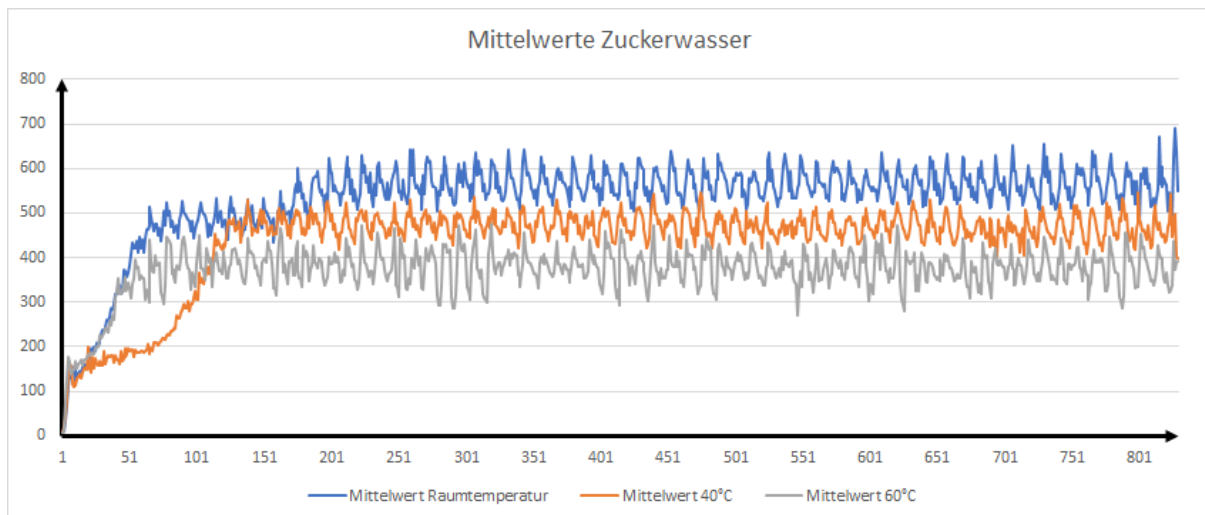


Abb. 18: Mittelwerte der Zuckerlösung bei unterschiedlichen Temperaturen

Abb. 17 und 18 zeigen den Einfluss von Unterschieden der Temperatur auf die Viskosität. Je niedriger die Temperatur ist, desto viskoser wird die Substanz und umgekehrt. Die Graphen in den Abbildungen sind in aufsteigender Temperatur anhand der Ergebnisse angeordnet. Es zeigt sich, dass die Messreihen gelungen sind, da der Graph der niedrigsten Temperatur oben und der Graph der höchsten Temperatur unten ist. Somit entsprechen die Ergebnisse der Hypothese.

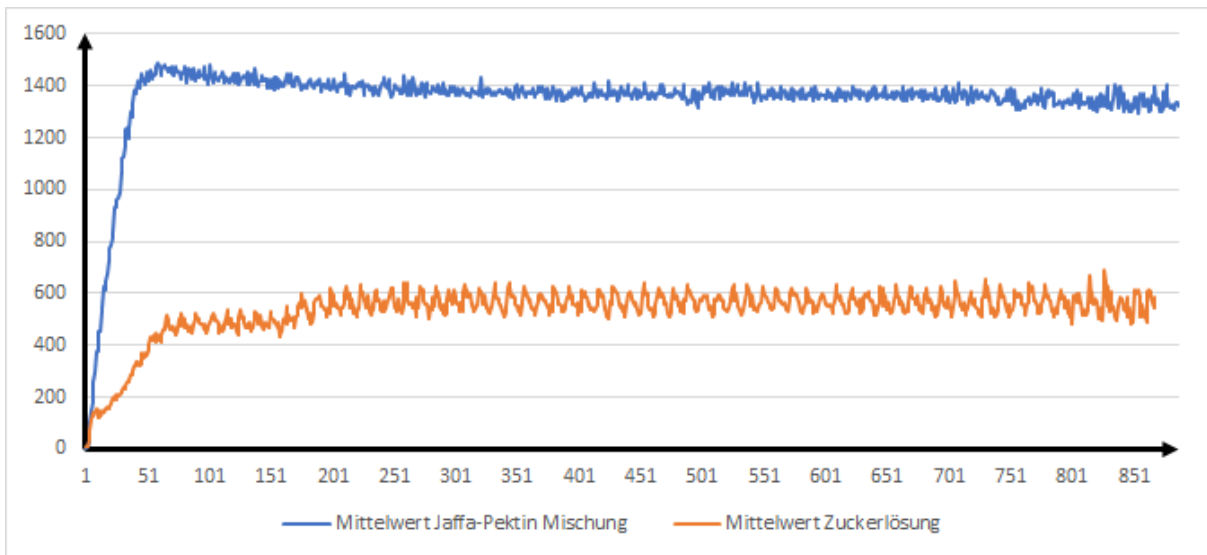


Abb. 19: Mittelwert der Jaffa-Pektin-Mischung und Zuckerlösung bei Raumtemperatur

In Abb. 19 sieht man im direkten Vergleich der Kurven, dass die Jaffa-Pektin-Mischung viskoser ist als das Zuckerwasser.

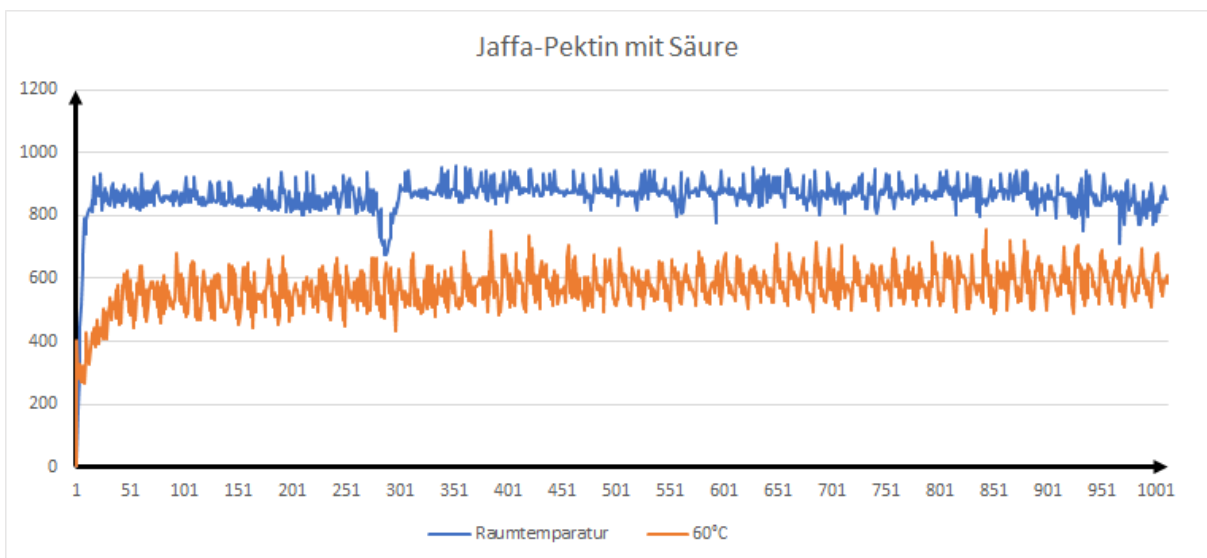


Abb. 20: Jaffa-Pektin-Mischung mit Zitronensäure bei verschiedenen Temperaturen

Mit der Hinzugabe der Zitronensäure veränderte sich die Zusammensetzung der Jaffa-Pektin-Mischung: Sie gelierte. Man kann den Zeitpunkt der Mischung an der Veränderung der Viskosität erkennen, jedoch nur bei Raumtemperatur. Beide Kurven sind in Abb. 20 dargestellt. Weshalb keine klar erkennbare Veränderung der Werte bei 60°C vorhanden ist, lässt sich lediglich durch Messfehler erklären. Schließlich sollte (wie in 3.3.2 erwähnt) die Säure die Werte dauerhaft erhöhen.

4.2 Fehlerdiskussion

Der erste Reaktor, wie in Abb. 1 zu erkennen, ist nicht temperierbar, womit sich die gemessene Viskosität in Korrelation zur Raumtemperatur an den verschiedenen Zeitpunkten der Messungen verändert. Außerdem ist der Rührer nicht mittig und reibt an der Aufhängung, was die Ergebnisse verfälscht.

Durch die Verbesserung des Reaktors lassen sich einige Fehlerquellen minimieren. Es werden Temperaturabweichungen, sowie unvorhergesehene Änderungen der Drehfrequenz vermindert. Zufällige Fehler wie das falsche Ablesen von Werten können vermieden werden, indem die Messdaten direkt auf den Computer übertragen werden. Trotzdem sind die Messwerte zum Teil fehlerhaft, wie man an einigen Messreihen erkennen kann.

Bei einmaligen, starken Abweichungen der Motorspannung handelt es sich um grobe Messfehler. Diese könnten beispielsweise dadurch zustande kommen, dass gegen das Stativ gestoßen wird oder der Rotor hängen bleibt. Beim Hängenbleiben oder Schleifen des Rotors wird die Geschwindigkeit zwar durch die Regelung angepasst, aber trotzdem erhöht sich die Spannung am Motor.

Zusätzlich könnte auch die Geschwindigkeitsregelanlage selbst eine Fehlerquelle sein, da diese nicht optimal funktioniert. Die Geschwindigkeit pendelt die gesamte Zeit zwischen einem Wert etwas über der gewünschten Drehfrequenz und einem Wert, der etwas darunter liegt. Dieser Fehler ist aber nie ganz zu vermeiden und sollte keine großen Verfälschungen verursachen.

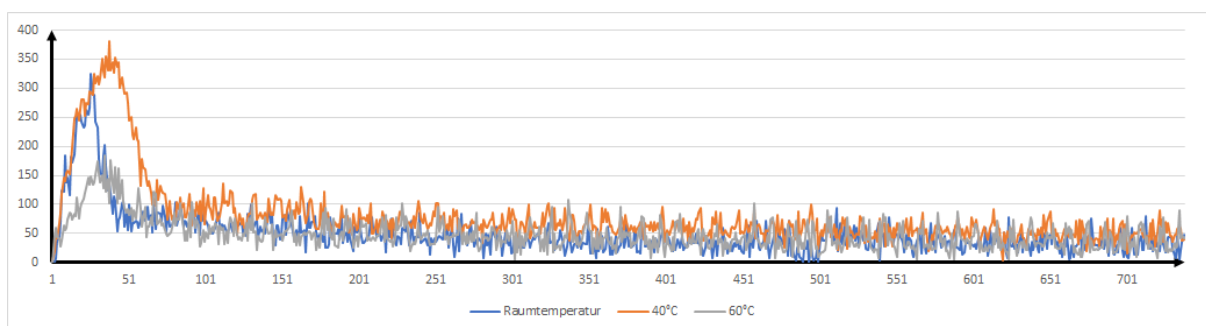


Abb. 21: Standardabweichung bei verschiedenen Temperaturen der Jaffa-Pektin-Mischung
Im Vergleich der Kurven in Abb. 21 sieht man, dass trotz erhöhter Temperatur die Standardabweichung im gleichen Rahmen schwankt wie bei Raumtemperatur. Der Ausschlag lässt sich durch grobe Messfehler erklären. Die zu Beginn hohen Ausschläge aller Kurven sind auf die langsame Beschleunigung des Rührers zurückzuführen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit den Experimenten bei beiden Reaktoren wurde deutlich, dass die Verbesserungen des neuen Reaktors sehr sinnvoll waren. Wie vermutet hängt die Viskosität stark von der Temperatur der Substanz ab, was anhand der Messwerte in Abb. 17 und 18 erkennbar ist. Auch die Geschwindigkeitsregelung trägt zur allgemeinen Verbesserung der Messwerte bei.

Der Reaktor kann in folgenden Punkten verbessert werden. Eine kompaktere, das heißt eine weniger voluminöse und leichter verwendbare Geschwindigkeitsregelung sowie fest verbaute Kabel können erleichtertes Arbeiten am Reaktor garantieren. Außerdem kann eine andere Überträgerflüssigkeit zum schnelleren Erhitzen der zu untersuchenden Flüssigkeiten beitragen, wie beispielsweise Propylen-Glykol-Wasser. Es hat einen hohen Siedepunkt (187°C) und einen tiefen Gefrierpunkt(-60°C), sowie eine niedrige Viskosität und ist nicht toxisch.

Ausblickend zeigt sich, dass sowohl der alte als auch der neue Reaktor gute Wege sind, Experimentatoren an das wissenschaftliche Experimentieren heranzuführen. Durch die selbstständige Arbeitsweise wird das unabhängige Arbeiten unterstützt und die Schüler können anschließend ihre Ergebnisse auswerten und analysieren. Fehler können nach dem Auswerten erklärt und in weiteren Versuchen minimiert werden. Der Vorteil des ersten Reaktors ist seine Einfachheit, wohingegen der verbesserte Reaktor mithilfe des Thermostats temperiert und mit ihm so kompliziertere Experimente durchgeführt werden können. Zudem bietet der temperierbare Reaktor genauere Messwerte. Beispielsweise könnten erneut Versuche mit der Jaffa-Pektin-Mischung und Zitronensäure durchgeführt werden, da diese Messreihe suboptimale Ergebnisse geliefert haben. Auch die hierfür notwendige Jaffa-Pektin-Mischung sollte erneut hergestellt werden, da auch hier der Fehler der Versuche liegen könnte.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen Personen bedanken, ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

An erster Stelle sind Dipl.-Ing Joachim Hampel der Hochschule Pforzheim, der uns nicht nur einen Standort zum Experimentieren zur Verfügung stellte, sondern uns auch mit fachlicher Kompetenz zur Seite stand, und unser Betreuer und Kursleiter Pforzheims Dr.-Ing Joachim Götz zu nennen.

Außerdem bedanken wir uns bei den weiteren Kursleitern Herrn Oehme aus Pforzheim und Herrn Gruber und Frau Richert aus Karlsruhe.

Abschließend bedanken wir uns bei Josephine und Dr. Hans-Werner Hector, deren Unterstützung wir im Rahmen des Hector Seminars seit Jahren genießen.

Quellenverzeichnis

[https://de.wikipedia.org/wiki/Suspension_\(Chemie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Suspension_(Chemie)), 19.07.2019 16:25

<https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrokolloide>, 19.07.2019 16:25

<https://www.rewe.de/ernaehrung/was-ist-agar-agar/>, 09.09.2019 13:24

<https://www.chemie.de/lexikon/Propylenglykol.html> 11.09.2019 17:54

https://de.wikipedia.org/wiki/Tera_Term, 19.07.2019 16:53

Götz, J.: Möglichkeiten der Kernspintomographie zur Diagnose von Strömungsvorgängen und Strukturänderungen in Pasten. Karlsruhe: Universität, Fakultät für Chemieingenieurwesen, Diss., 1994

Produktinformation Bedienungsanleitung Thermostat, Thermostat ICC, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen

Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Rührbehälter in Wasserbad

Abb. 1: Reaktormodell

Abb. 2: Rotor mit Lichtschranke

Abb. 3: Thermostat mit eingebauter Pumpe

Abb. 4: Wasserbad mit Thermostat

Abb. 5: stählerner Reaktor im Wasserbad

Abb. 6: Zuckerlösung

Abb. 7: Jaffa-Pektin-Mischung

Abb. 8: Zuckerlösung bei Raumtemperatur im temperierbaren Reaktor

Abb. 9: Zuckerlösung bei 40°C im temperierbaren Reaktor

Abb. 10: Zuckerlösung bei 60°C im temperierbaren Reaktor

Abb. 11: Mittelwerte der Zuckerlösung bei verschiedenen Temperaturen

Abb. 12: Jaffa-Pektin-Mischung bei Raumtemperatur im temperierbaren Reaktor

Abb. 13: Jaffa-Pektin-Mischung bei 40°C im temperierbaren Reaktor

Abb. 14: Jaffa-Pektin-Mischung bei 60°C im temperierbaren Reaktor

Abb. 15: Mittelwerte der Jaffa-Pektin-Mischung bei verschiedenen Temperaturen

Abb. 16: Jaffa-Pektin-Mischung mit Säure bei unterschiedlichen Temperaturen

Abb. 17: Mittelwerte der Jaffa-Pektin-Mischung bei unterschiedlichen Temperaturen

Abb. 18: Mittelwerte des Zuckerwassers bei unterschiedlichen Temperaturen

Abb. 19: Mittelwert der Jaffa-Pektin-Mischung und Zuckerlösung bei
Raumtemperatur

Abb. 20: Jaffa-Pektin-Mischung mit Zitronensäure bei verschiedenen Temperaturen

Abb. 21: Standardabweichung der Jaffa-Pektin-Mischung bei verschiedenen
Temperaturen

Anhang

Quellcode des ersten Reaktors:

```
/******  
* Projektname:          Project  
* Prozessor:           NUC130VE  
* Funktion:            NWT_Blinky  
* Erstellungsdatum:  
* Bearbeiter:  
* History:  
*****/  
  
#include "..\_Driver\BoardConfig.h"  
#include "..\_Module\GLCD_NWT.h"  
#include "..\_Module\M_DONGLE_NWT.h"  
#include "init.h"  
  
uint32_t Speed=10, ReaktorAn=0;  
uint32_t ADCWert=0, ADCMin=5000, ADCMax=0;  
uint32_t Sekunden=0, Minuten=0, mSekunden;  
  
#define MotorAn M_GPIO_BIT_SET(GPIOD0_BIT)  
#define MotorAus M_GPIO_BIT_CLEAR(GPIOD0_BIT)  
  
void SysTick_Handler(void)  
{  
    static uint8_t PWMCount=0;  
    static uint8_t ADCBufferCount=0;  
    if(ReaktorAn==1) //Zeitähler, wenn Reaktor läuft  
        mSekunden++;  
    if(mSekunden==1000) //Umwandlung der Zeit von ms in s und m  
    {  
        mSekunden=0;  
        Sekunden++;  
        if(Sekunden==60)  
        {  
            Sekunden=0;  
            Minuten++;  
        }  
    }  
    if(ReaktorAn==1) //Wenn Reaktor an  
    {  
        if(Speed>0 && PWMCount==0) //Und Geschwindigkeit > 0 und  
        {  
            MotorAn;  
        }  
    }  
}
```

```

    }
    else
    {
        MotorAus;
    }

    WAIT_uS(100);
    ADCWert=(ADCWert*99+(4095-GET_MOTOR()))/100;

    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;
    if(Speed+2==PWMCount) MotorAus;

    PWMCount++;
    if((PWMCount)>11)
        PWMCount=0;
}

int main (void)
{
    //Variablen
    uint32_t x=0;

    //Grundeinstellungen
    DrvSystem_ClkInit();           // Setup clk system
    DrvSystem_HClkSet(HCLK_PLL);  //48MHz PLL Clock
    Board_Init();                 // Initialisierung der Peripherie des M_Dongles

    DrvGPIO_PortOpen(E_GPD, 0, E_IO_OUTPUT);
    MotorAus;

    GLCD_Init();                  //Display initialisieren
    GLCD_BackgroundInit();

    DrvSysTick_Init_ms(1);
    M_SYSTICK_ENABLE;
    M_SYSTICK_INT_ENABLE;

    //Weiter einmalige Anweisungen
    GLCD_PrintText(0,0,"R:");

```

```

while(1)
{
    if(GET_JOYSTICK()==1)
        ReaktorAn=1;
    if(GET_JOYSTICK()==3)
        ReaktorAn=0;
    if(GET_JOYSTICK()==2)
    {
        if(Speed<10) Speed++;
        WAIT_mS(1000);
    }
    if(GET_JOYSTICK()==4)
    {
        if(Speed>0) Speed--;
        WAIT_mS(1000);
    }
    if(ReaktorAn==1)
    {
        GLCD_PrintText(0,3,"An ");
    }
    else
    {
        GLCD_PrintText(0,3,"Aus");
    }
    if(GET_SW3()==1)
    {
        Sekunden=0;
        Minuten=0;
        mSekunden=0;
    }
    if(GET_SW2()==1)
    {
        ADCMin=5000;
        ADCMax=0;
    }

    GLCD_PrintText(1,0,"ADC:");
    GLCD_PrintIntStellen(ADCWert,4 );
    if(ADCWert>ADCMax)
        ADCMax=ADCWert;
    if(ADCWert<ADCMin)
        ADCMin=ADCWert;
    //GLCD_PrintText(1,9,"Max:");
    GLCD_PrintIntStellen(ADCMax,4 );
    GLCD_PrintIntStellen(ADCMin,4 );
}

```

```

GLCD_PrintText(0,7,"Sp:");
GLCD_PrintIntStellen(Speed,2);

GLCD_SetTextCursor(0,14);
GLCD_PrintIntStellen(Minuten,2);
GLCD_PrintIntStellen(Sekunden,2);
GLCD_SetTextCursor(0,17);
GLCD_PrintChar(':');

GLCD_SetTextCursor(2,0);
GLCD_PrintIntStellen(PWMCount, 3);

if(ReaktorAn==1&&Speed>0)
{
    //GLCD_SetPixel((ADCWert-2200)/23+16, x);
    GLCD_SetPixel((2300-ADCWert)/25+16, x);
}
else
{
    GLCD_SetPixel(63, x);
    //GLCD_SetPixel(63-(ADCWert-700)/20, x);
}

x++;
x=x%128;
GLCD_WriteLine(16,x,63,x,0);
GLCD_WriteLine(16,x+1,63,x+1,1);
WAIT_mS(100);
}
}

```

Selbstständigkeitserklärung

Wir versichern, dass wir diese schriftliche Prüfungsarbeit selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt haben und dass wir alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht haben.

Karlsruhe, 27.09.2019

Jan Frey

Markus Biedler

Sven Thomes